

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA E MECÂNICA DE FIOS DE ALUMÍNIO 1350 COM TEORES DE 1% E 2% DE NÍQUEL PARA FINS DE TX E DX



<https://doi.org/10.22533/at.ed.152152503025>

Data de aceite: 17/02/2025

Yan Christian Silva de Araújo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5136415587850242>

Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1521124351431087>

Jennifer Ferreira Fernandes

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1870190983115933>

Alicia Regina Zanon Barbosa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2085252897942870>

Eric Elian Lima Espíndola

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1193834237116588>

Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8918189837419936>

Amanda Lucena de Medeiros

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7734539626373520>

RESUMO: O alumínio é amplamente utilizado nos setores de transmissão (Tx) e distribuição (Dx) de energia elétrica devido à sua elevada condutibilidade elétrica e leveza. No entanto, o alumínio puro apresenta baixa resistência mecânica, o que limita sua aplicação em cabos condutores. A adição de elementos de liga, como o níquel, tem sido uma estratégia eficaz para melhorar as propriedades mecânicas sem comprometer significativamente a condutividade elétrica. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e correlacionar as propriedades elétricas e mecânicas das ligas de Al-1%Ni e Al-2%Ni, comparando-as com ligas comerciais já utilizadas no mercado, como o Alumínio Eletro Condutor (Al-EC) e a liga 6201. A caracterização elétrica foi realizada por meio de ensaios de resistência elétrica, enquanto a caracterização mecânica foi obtida através de ensaios de tração. Os resultados mostraram que a liga Al-2%Ni apresentou

uma condutividade elétrica de 64,70 %IACS, superior à liga Al-1%Ni (62,95 %IACS) e ao Al-EC. Além disso, a liga Al-2%Ni obteve um limite de resistência à tração (LRT) de 267,08 MPa, superior ao da liga Al-1%Ni (244,15 MPa) e ao Al-EC. Conclui-se que a adição de níquel em até 2% em peso é eficaz para melhorar as propriedades mecânicas do alumínio sem comprometer sua condutividade elétrica, tornando essas ligas promissoras para aplicações em cabos de transmissão e distribuição de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Transmissão; Distribuição; Energia Elétrica; Condutores de Alumínio.

ELECTRICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF 1350 ALUMINUM WIRES WITH 1% AND 2% NICKEL CONTENT FOR TX AND DX APPLICATIONS

ABSTRACT: Aluminum is widely used in the energy transmission (Tx) and distribution (Dx) sectors due to its high electrical conductivity and lightness. However, pure aluminum has low mechanical strength, which limits its application in conductive cables. The addition of alloying elements, such as nickel, has been an effective strategy to improve mechanical properties without significantly compromising electrical conductivity. This work aimed to characterize and correlate the electrical and mechanical properties of Al-1%Ni and Al-2%Ni alloys, comparing them with commercial alloys already used in the market, such as Electrolytic Conductor Aluminum (Al-EC) and the 6201 alloy. Electrical characterization was performed through electrical resistance tests, while mechanical characterization was obtained through tensile tests. The results showed that the Al-2%Ni alloy presented an electrical conductivity of 64.70 %IACS, higher than the Al-1%Ni alloy (62.95 %IACS) and Al-EC. Additionally, the Al-2%Ni alloy achieved a tensile strength (UTS) of 267.08 MPa, higher than the Al-1%Ni alloy (244.15 MPa) and Al-EC. It is concluded that the addition of up to 2% by weight of nickel is effective in improving the mechanical properties of aluminum without compromising its electrical conductivity, making these alloys promising for applications in energy transmission and distribution cables.

KEYWORDS: Transmission; Distribution; Electrical Energy; Aluminum Conductors.

INTRODUÇÃO

O alumínio é amplamente utilizado nos setores de transmissão (Tx) e distribuição (Dx) de energia elétrica devido à sua elevada condutibilidade elétrica e leveza, características que reduzem as perdas de energia ao longo das redes condutoras (ABAL, 2012). No entanto, o alumínio puro, apesar de sua excelente condutividade, apresenta baixa resistência mecânica, com um limite de resistência à tração (LRT) de apenas 12 MPa para alumínio ultra-puro (99,9999% de pureza) e 40 MPa para alumínio com 90% de pureza (Russel & Lee, 2005). Para superar essa limitação, a adição de elementos de liga, como o níquel, tem sido uma estratégia eficaz para melhorar as propriedades mecânicas sem comprometer significativamente a condutividade elétrica (Dantas, 2014).

O níquel, embora pouco solúvel no alumínio, forma compostos intermetálicos como Al_3Ni , Al_3Ni_2 , AlNi , Al_3Ni_5 e AlNi_3 , que conferem um aumento significativo na resistência mecânica mesmo em pequenas quantidades (Canté, 2009). Estudos recentes, como o de Gomes (2013), demonstram que a adição de níquel em ligas de alumínio pode melhorar tanto a resistência mecânica quanto a condutividade elétrica, dependendo da concentração e do tratamento térmico aplicado. Além disso, Souza (2013) sugere que a adição de níquel em até 2% em peso resulta em um aumento da resistência mecânica sem alterar de forma significativa as propriedades elétricas.

Portanto, este trabalho teve como objetivo caracterizar e correlacionar as propriedades elétricas e mecânicas das ligas de Al-1%Ni e Al-2%Ni, comparando-as com ligas comerciais já utilizadas no mercado, como o Alumínio Eletro Condutor (Al-EC) e a liga 6201.

MATERIAIS E MÉTODOS

Fabricação das Ligas

A fabricação das ligas Al-1%Ni e Al-2%Ni foi realizada a partir de um cálculo estequiométrico para determinar as quantidades de alumínio e níquel necessárias. Os materiais foram fundidos em cadinhos de carboneto de silício (SiC) revestidos com alumina em suspensão, a uma temperatura de 900 °C em um forno do tipo Mufla da marca GREFORTEC. Após a homogeneização, os banhos metálicos foram vazados em moldes de coquilha metálica em formato “U” (Canté, 2009).

Fabricação dos Fios

Após a solidificação, as ligas foram desmoldadas e submetidas ao processo de usinagem no Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), onde os diâmetros das amostras foram reduzidos de 22,5 mm para 18,5 mm. Em seguida, as amostras foram laminadas a frio em laminadores elétricos duo reversível da marca MENAC, atingindo um diâmetro final de 3,0 mm (Nascimento, 2015).

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica das amostras foi determinada utilizando um micro-ohmímetro MegaBras 2000-e, pelo método de ponte de Kelvin. Foram realizadas três medições de 40 cm ao longo dos fios, com variação de 3 cm entre cada medição, seguindo as normas técnicas NBR 6814, NBR 5118 e ASTM B193 (ABNT, 2007; ABNT, 1981).

Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios KRATOS, modelo IKCL-USB, acoplada a um sistema de aquisição de dados. Os testes seguiram os parâmetros da norma NBR 6810, utilizando corpos de prova com 15 cm de comprimento útil (ABNT, 1981).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condutividade Elétrica

Os resultados dos ensaios de condutividade elétrica, apresentados na Tabela 1, mostram que a liga Al-2%Ni apresentou uma condutividade elétrica de 64,70 %IACS, superior à liga Al-1%Ni (62,95 %IACS). Conforme a Tabela 1, abaixo:

Ligas	Diâmetro (mm)	Condutividade elétrica (%IACS)	Desvio Padrão
Al-1% Ni	3,0	62,95	± 0,3
Al-2% Ni	3,0	64,70	± 0,10

Tabela 1 – Condutividade elétricas das amostras Al-1% Ni e Al-2% Ni

Fontes: Autores, 2025

Ao comparar os resultados do presente artigo, com cabos elétricos que já possuem fabricação e comercialização, foi possível plotar um gráfico comparativo que pode ser visualizado na Figura 1, a seguir:

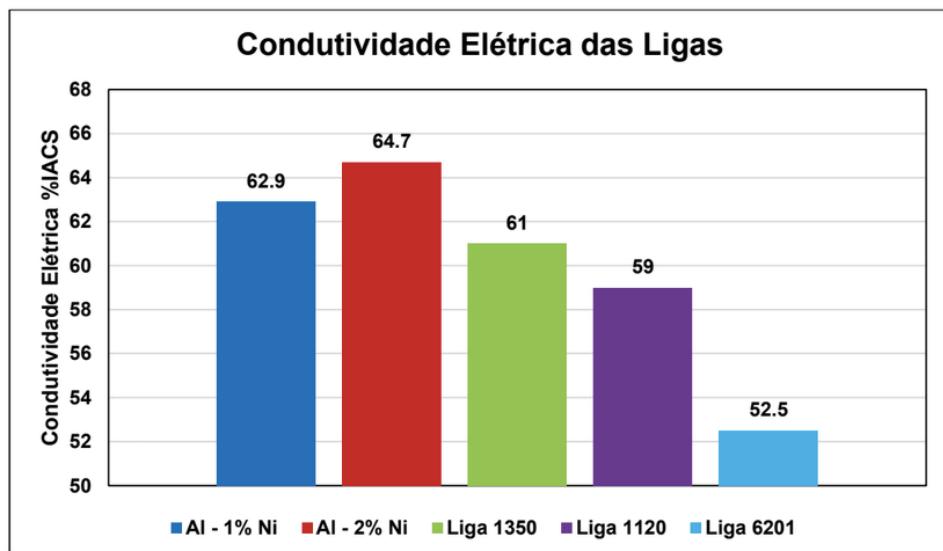


Figura 1 – Comparação da condutividade elétrica das ligas

Fonte: Autores, 2025

Utilizando o gráfico da Figura 1, pode-se afirmar que a adição do níquel nas porcentagens de 1 % e 2 %, não influenciou de maneira negativa na propriedade elétrica trabalhada, de forma que a liga com a maior condutividade, foi a de 2 %. Fator este que vai de acordo com Horoshiki et al. (2006), onde o mesmo afirma que o Ni é um dos elementos de liga que menos interfere nas propriedades elétricas do Alumínio em até 0,5 % de peso.

Souza (2013), sugere que a adição de níquel em até 2 % em peso e na presença de tratamento térmico, resulta em um aumento de resistência mecânica da liga de alumínio, sem alterar de maneira significativa as propriedades elétricas. Porém, mesmo que não tenha sido realizado o tratamento térmico, a utilização do níquel nas porcentagens propostas, não prejudicou o desempenho das ligas nos ensaios de resistência elétrica, onde pode-se destacar que as ligas trabalhadas possuíram condutividade elétrica maior do que as ligas que já possuem aplicação industrial

Resistência Mecânica

A Tabela 2, apresenta os resultados dos ensaios de tração das ligas de Al-1% Ni e Al- 2% NI, nos 3 corpos de prova de 3,0 mm.

Ligas	LRT (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (%)
Al - 1% Ni	241,30		
	237,08	244,15	± 8,86
	254,09		
Al - 2% Ni	265,66		
	268,36	267,08	±1,36
	267,23		

Tabela 2 – Limite de resistência à tração das ligas trabalhadas

Fonte: Autores, 2025

A Tabela 2, evidencia que os resultados dos corpos de prova tiveram variação considerável na liga com 1 % de Níquel, de forma que o desvio padrão foi elevado quando comparado ao da liga com 2 % de Níquel. Com esses dados, elaborou-se o um gráfico para melhor visualização do desempenho das ligas trabalhadas, com as ligas que já possuem aplicação industrial, gráfico esse que será apresentado na Figura 2, a seguir:

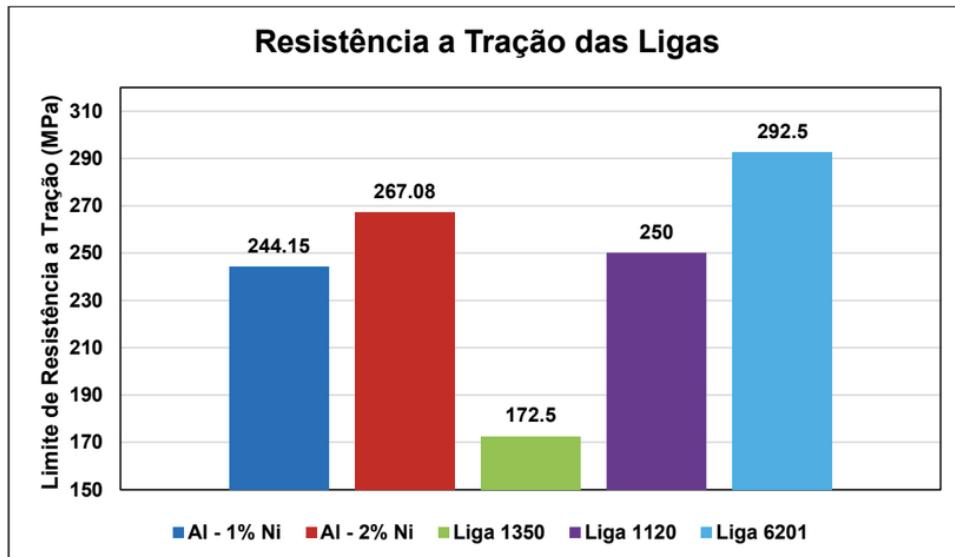


Figura 2: Comparação do limite de resistência a tração das ligas

Fonte: Autores, 2025

Os dados proporcionados pela Figura 2, constatam que as ligas trabalhadas possuem LRT's que podem ser comparados com os cabos que já possuem utilização prática, reforçando que a adição do Níquel na matriz do alumínio, proporcionou este LRT elevado. A liga Al-2% Ni, obtém o maior resultado, reforçando a afirmação de Nascimento (2015), onde o mesmo constata em seu estudo que, ao adicionar 2 % de Níquel ao alumínio comercialmente puro, há um aumento significativo no LRT da liga quando comparado com o LRT do Al-EC.

Literaturas dissertam que são raros os estudos de ligas Al-Ni com baixo teor de Níquel, e que ao ocorrer esses casos, dentro da faixa eutética, existe a formação do composto intermetálico Al_3Ni , onde o mesmo possui estabilidade abaixo de 500 °C e proporciona um reforço para a matriz dendrítica, conferindo assim, uma maior resistência mecânica para o material (Canté, 2009).

As propriedades mecânicas das ligas de Al-Ni, sofrem forte influência quando alterado os valores de soluto dentro de sua estrutura. Gomes (2013) afirma que ao aumentar a porcentagem de soluto, as propriedades mecânicas de tensão de escoamento, limite de resistência à tração e tensão de ruptura, também são elevados.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a adição de níquel nas ligas de alumínio Al-1%Ni e Al-2%Ni resultou em um aumento significativo da resistência mecânica sem comprometer a condutividade elétrica. Corroborando com a literatura que destaca a formação de compostos intermetálicos como o Al_3Ni , como responsáveis pelo aumento da resistência mecânica.

A liga Al-2%Ni destacou-se por apresentar uma condutividade elétrica 3,7% maior que o Al-EC e 18,86% maior que a liga 6201, além de um LRT 35,41% maior que o Al-EC.

Além disso, os resultados obtidos reforçam a viabilidade da aplicação dessas ligas em cabos de transmissão e distribuição de energia. Para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação do efeito de tratamentos térmicos e da adição de outros elementos de liga, como magnésio e cobre, para otimizar ainda mais as propriedades das ligas de alumínio-níquel.

REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. Fundamentos e aplicações do alumínio. 2012. 68p.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (ASM INTERNATIONAL). Aluminum and aluminum alloys. v. 4. American Society for Metals - ASM Handbook, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5118: Fios de alumínio 1350 nus, de seção circular, para fins elétricos. Rio de Janeiro, ago. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6810: Fios e cabos elétricos – Tração à ruptura em componentes metálicos. Rio de Janeiro, ago. 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6814: Fios e cabos elétricos – Ensaio de determinação da resistividade em componentes metálicos. Rio de Janeiro, ago. 1981.

CANTÊ, M. V. Solidificação Transitória, Microestrutura e Propriedades de Ligas Al-Ni. 2009. 204f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

DANTAS, P. P. Caracterização de ligas hipereutéticas de Al-Ni solidificadas unidirecionalmente. 2014. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GOMES, R. C. F. Caracterização térmica e mecânica de ligas hipoeutéticas de alumínio-níquel (Al-Ni). 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

HORIKOSHI, T.; KURODA, H.; SHIMIZU, M.; AOYAMA, S. Development of aluminum alloy conductor with high electrical conductivity and controlled tensile strength and elongation. Hitachi Cable Review, n. 25, p. 1-8, ago. 2006.

NASCIMENTO, L. G. S. Influência da adição de nanotubos de carbono nas propriedades mecânicas da liga Al-2%Ni solidificadas unidirecionalmente. 2015. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

PIMENIDIS, J. A.; TERAM, R.; NASCIMENTO, M. S.; SANTOS, V. T. D.; SILVA, M. R. D.; COUTO, A. A.; SANTOS, G. A. D. Análise do comportamento elétrico de ligas de alumínio obtidas por solidificação unidirecional. In: Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 3. Cap. 2, p. 11-22, 2021.

RUSSEL, A. M.; LEE, K. L. Structure: property relations in nonferrous metals. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 385p.

SOUZA, P. H. L. Análise da influência de teores de Mg e Ni sobre as propriedades térmicas, mecânicas e elétricas de uma liga Al-Cu-Fe para transmissão e distribuição de energia elétrica. 2013. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.